

Disseny d'un Controlador per a un Dron Terrestre

Alexandre Carrillo Costa

Juny de 2020

Resum– El disseny i la programació de Vehicles No Tripulats, també anomenats drons, és una de les tecnologies punteres que més interès genera al voltant del *Internet of Things*. Aquest projecte representa el procés de creació des de zero de un prototip de controlador per a drons terrestres dotat d'una certa autonomia, incloent tot el procés de disseny, construcció i programació, amb l'objectiu de crear una base de coneixement que sigui un punt de partida per a futurs projectes. El dron està dotat d'una sèrie de mòduls de comunicació i de sensors per poder fer un seguiment autònom d'un usuari evitant obstacles. S'ha fet un estudi de viabilitat, dissenyat una estructura física en 3D, programat firmware per a cada component, i diversos test per verificar el funcionament del prototip final.

Paraules clau– Dron terrestre, sensors, actuadors, microcontrolador, MCU, GPS, geolocalització, internet de les coses, IOT

Abstract– Designing and programming unmanned aerial vehicles, also known as drones, is one of the cutting-edge technologies that raises more interest around the internet of things. This project is a representation of the process of creation from scratch a controller prototype for terrestrial drones with a certain autonomy, including all the process of design, construction and programming, with the objective of creating a knowledge base for future projects. The drone is equipped with a series of communication modules and sensors, with the objective of following autonomously a user avoiding obstacles in the way. A viability study, a physical 3D chassis, firmware programming for each component and also verification test have been done in order to verify all the final prototype behaviour.

Keywords– Terrestrial Drone, Ground drone, sensor, actuator, microcontroller, MCU, GPS, geolocalization, internet of things, IOT

1 INTRODUCCIÓ

EL disseny i la programació de Vehicles No Tripulats, també anomenats drons, és una de les tecnologies punteres que més interès genera al voltant del *Internet of Things* (IoT).

Aquest projecte inclou tot el procés de disseny, construcció i programació d'un dron de seguiment terrestre a l'aire lliure, dotat d'una certa autonomia. Per tant, estariem parlant de un projecte que ha de cobrir tant els aspectes físics de disseny de una estructura física ja siguin les seves capacitats motrius, els diferents components i sensors; i tota la seva lògica interna, com capacitat de decisió i interacció amb l'usuari i l'entorn. Mitjançant la tecnologia Bluetooth i la geolocalització d'un smartphone, el dron seguirà a l'usuari a una distància moderada de forma autònoma. El dron ha de ser capaç de evitar obstacles i alteracions del terra, fent servir un sistema de detecció d'obstacles. A la figura 1, s'hi troben representats els blocs del sistema.

En resum, es vol dissenyar des de zero un prototip de controlador per a drons terrestres, creant una base de coneixement

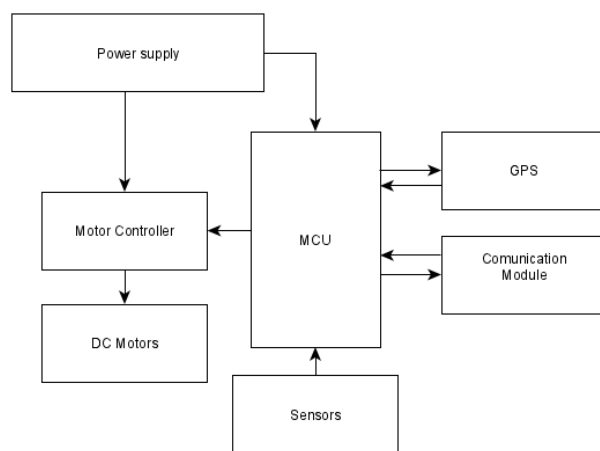


Fig. 1: Diagrama de blocs del prototip

ment que més endavant es pugui fer servir com a punt de partida per un projecte més específic.

L'objectiu principal el podem dividir en els següents objec-

tius específics:

- Tractar les comunicacions del satèl·lits de posicionament, entenent dels estàndards de comunicació de la National Marine Electronics Association (NMEA)[1,2], estàndard de facto dels sistemes de GPS.
- Posar en funcionament la comunicació entre l'usuari i el dron fent servir una estructura master-slave amb L'Estàndard de comunicació Bluetooth.
- Dissenyar una estructura física pel robot (xassís) amb un software de modelatge en 3D i imprimir-la.
- Programar el firmware de tots els sensors i els actuadors (motors, sensors de proximitat, etc).
- Programar el firmware de control del dron per tal de que es pugui aproximar al objectiu de la manera més optima possible.
- Construir un shield de placa perforada per la interconnexió de tots els components, per fer més senzilla la gestió dels cables.

2 MARC TEÒRIC

Quan parlem de Drons el primer que ens ve al cap es la de un vehicle aeri no tripulat (VANT). Cada dia podem veure com les grans empreses estan adoptant-los com una forma de millorar la productivitat i automatitzar tasques, com per exemple l'empresa DHL[17], que els ha adoptat per facilitar els inventaris a centres logístics. Tot i que la majoria de notícies i mencions es refereixen majoritàriament als drons aeris, els drons terrestres també son una part important d'aquesta tecnologia creixent.

Els drons terrestres són vehicles no tripulats que presenten reptes molt diferents als aeris. La superfície sobre la qual es desplacen es un factor molt important a tenir en compte, i en funció de la mateixa haurem de tirar un mètode adient de desplaçament; ja siguin potes, rodes o un sistema de tracció per eruga, haurem de adaptar-nos.

Els drons terrestres tenen moltíssima variabilitat en la seva forma, mida i funció. Un exemple dron terrestre podria ser una maleta que va al costat del seu amo a l'aeroport, un organitzador de magatzems que segueix línies del terra, un sistema de vigilància d'una finca...

Aquest treball es centrarà en un dron de seguiment autònom, podent servir com a base per a qualsevol dron terrestre en funció de l'aplicació.

3 METODOLOGIA

Per a la elaboració d'aquest treball ens hem basat una metodologia de co-diseny de hardware i software, tal i com es documenta a "High-Performance Embedded Computing", per M. Wolf i que es troba representat a la figura 2[3].

Hem triat aquesta metodologia com una evolució de les metodologies en espiral perquè als projectes que involucren sistemes encastats el software i el hardware es troben lligats entre sí i amb la arquitectura que fem servir. Això vol dir que no es possible fer un desenvolupament independent de

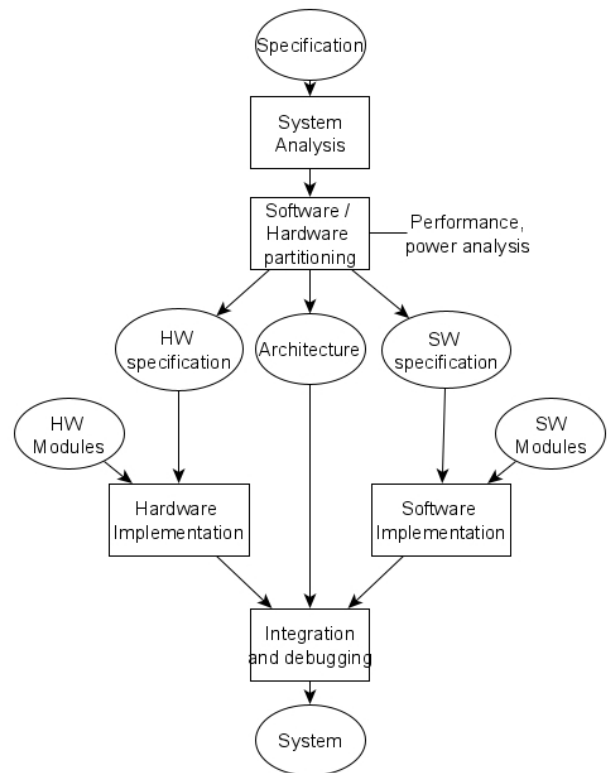


Fig. 2: Flux de disseny per a una arquitectura hw/sw, extret de *High-Performance Embedded Computing*, per M. Wolf[3] Figure 1.20, a design flow for hardware/software co-design, p25

ambdues parts. Hem de fer jocs de proves tenint en compte les especificacions de hardware i de software, treballant-hi en paral·lel per integrar-ho tot al sistema.

Tot i així, respectarem la filosofia de les metodologies en espiral [4]: anirem fent versions periòdiques, on cadascuna inclou millores respecte a l'anterior.

4 ESTUDI DE VIABILITAT

A l'hora de planificar el treball, s'ha decidit dividir-ho en 3 grans fases. Inicialment, s'ha realitzat un estudi de viabilitat, fent una investigació inicial, elaboració de pressupostos, prova del material, etc.

- Recerca Inicial: El primer que s'ha realitzat es una investigació per determinar quins components s'havien d'adquirir, a més de decidir a quina plataforma es desenvoluparà i quina metodologia s'ha de seguir.
- Elaboració del pressupost i compra de material. S'ha fet una compra dels següents components:
 - 2 Motors genèrics.
 - 2 Rodes pels motors i una roda de recolzament.
 - Controladora dels motors.
 - Mòdul bluetooth compatible amb smartphones Android.
 - Mòdul GPS.
 - Sensor d'ultrasons i sensor d'infraroig, per detectar obstacles.

- Placa de prototipat.
- Powerbank.
- Posada en marxa i testeig de tots els components, fent proves individuals per verificar que funcionen correctament, visible a la figura 3. A més, s'ha fet una anàlisi dels mòduls de GPS i de bluetooth, per verificar si la seva precisió es suficient.

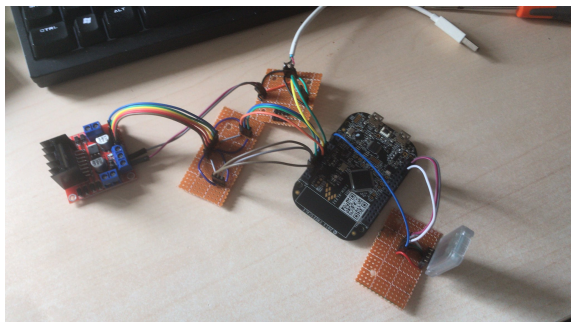


Fig. 3: Prototip inicial amb fusta i d'un sol pis

Un cop s'ha verificat el funcionament correcte de totes les parts, verificant que la comunicació entre l'usuari i el prototip es funcional, s'ha fet la construcció i disseny físic del dron, programant tot el firmware en relació de la part motora.

- Disseny del xassís
- Muntatge de la part motora del robot
- Programació del firmware de la part motora

En aquest punt, el prototip es pot controlar de forma manual i desplaçar-se sent controlat des del dispositiu a través de una aplicació de comunicació per enviar ordres a través de bluetooth, i retornar feedback a l'usuari.

La tercera part del treball total consisteix en la programació completa del firmware i fer el prototip autònom. En aquest cas, sense interacció de l'usuari el dron pot fer un seguiment de l'objectiu detectant possibles obstacles i funcionar en cas de que la comunicació s'interrompi.

Un cop finalitzat el prototip final, s'ha centrat es centrarà en el test i en la elaboració de materials audiovisuals, publicació dels resultats i la presentació final de tot el projecte.

A l'annex A2 es troba una representació temporal tot el procés de forma gràfica.

- Detecció d'obstacles i programació de firmware de detecció d'obstacles i del seguiment de l'usuari (abril-maig 2020).
- Testeig en exteriors del projecte complert, i elaboració de materials audiovisuals com a proves de que tot funciona correctament (maig-juny 2020).
- Construcció del prototip final i de la shield del projecte (juny 2020)
- Programació de la interfície de control de l'usuari i seguiment del prototip(juny 2020).
- Tancament del projecte.

5 DISSENY

Tal i com s'ha comentat, el projecte inclou tot el procés de disseny, construcció i programació d'un dron de seguiment terrestre a l'aire lliure totalment autònom. A nivell d'estructura farà servir un xassís dissenyat i imprès en 3D, amb dues rodes motrius i una de recolzament. El dron seguirà a l'usuari a una distància moderada i que va rebent constantment la geolocalització de l'objectiu mitjançant tecnologia Bluetooth. També ha de ser capaç de evitar obstacles i altres alteracions del terra, amb un sistema de detecció d'obstacles basat en ultrasons. A la figura 4 s'hi troben representats tots els blocs del sistema.

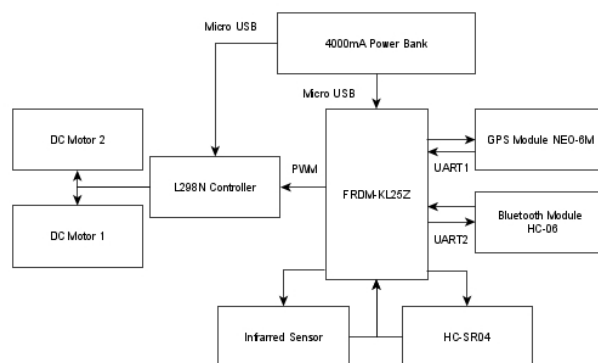


Fig. 4: Diagrama de blocs del prototip

5.1 Hardware i Entorn de desenvolupament

Per a dur a terme el controlador s'ha triat la placa de desenvolupament FRDM-KL25Z, de NXP[5,6]. El seu microprocessador ARM® Cortex™-M0+ Core es suficient per a la tasca. S'ha triat aquesta placa per la seva mida reduïda (aproximadament la de una targeta de crèdit) i pel seu nombre d'interfícies serie i de comunicació.

A nivell de plataforma, on s'ha programat tot el software necessari és mbed.com[7], perquè el processador de la placa fa servir el repertori d'instruccions d'ARM. L'avantatge d'aquesta plataforma envers els entorns de desenvolupament integrats tradicionals és la seva portabilitat i la gratuïtat d'ús. D'aquesta manera si necessitem adaptar el projecte a una altre tipus de microcontrolador, només cal recompilar el codi per a la plataforma de desenvolupament que calgui.

5.2 Moviment

A nivell motriu, el dron té dos motors genèrics de corrent contínua poc potents (3V per motor), i el controlador de motors L298N[11], que fa d'interfície entre els pins de control i els pins de la placa.

La alimentació de la controladora dels motors es fa directament des de la powerbank, ja que la placa no pot alimentar-la per si mateixa. A més, podria afectar a la vida útil. Per a tractar totes les dades que s'envien a la controladora s'ha programat un driver de control, el qual es tractarà en una secció més endavant de l'informe, a la secció 5.2.

Pels dos motors, necessitem 6 pins, 2 pins digitals per la polaritat de cada motor i un que pugui fer de modulador de

pols per a controlar la velocitat. D'aquesta manera podem regular la velocitat del gir del motor. És important verificar que els motors estiguin col·locats correctament, perquè el torque del motor es molt pitjor si està girant en sentit invers.

5.3 Estructura física

Per dissenyar tota la part del xassís del robot s'ha fet servir el software de disseny 3D Blender 2.8[12], que és software lliure, i Cura 4.6.1[15], per fer slicing. Originalment, el primer prototip funcional realitzat estava fent amb fusta a la figura 5. D'aquesta manera es pot verificar que el disseny proposat es correcte. Durant la elaboració del primer prototip s'han detectat i corregit diversos errors que s'han corregit a la versió impresa en 3D, la versió mes recent dels quals es troba als annex [1].

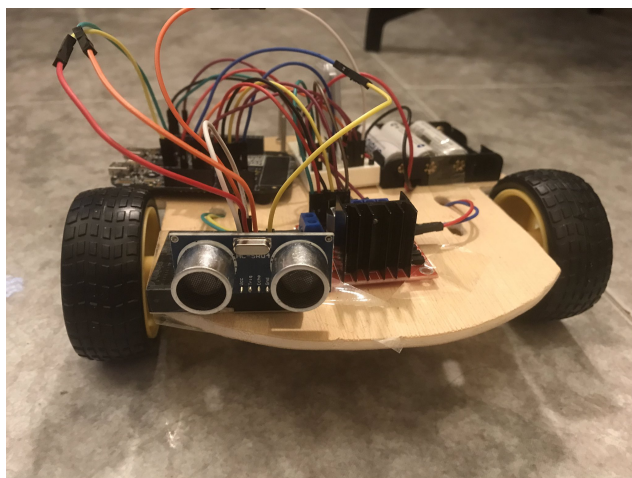


Fig. 5: Prototip inicial amb fusta i d'un sol pis

El disseny base del dron son dues circumferències de 9 cm de radi, tal i com es veu representat a la vista zenital de la figura 6. Les diferents perforacions del disseny son per collar-hi els components o el pis superior, passar-hi cables o per fixar els motors. Les rodes motrius són a la part posterior, mentre que la roda de recolzament es troba a la part frontal. S'ha de tenir en compte que la roda auxiliar pot desviar accidentalment la trajectòria del robot, i per tant s'hi ha d'aplicar-hi un pes extra per facilitar ofereixi una resistència i no es mogui tant. Al primer pis del dron, s'hi trobaria la powerbank, els motors, la controladora dels mateixos i els sensors per detectar obstacles. El segon pis del dron, es on hi resten els components electrònics: La placa de prototipat FRDM-KL25Z, els diferents circuits, i el mòdul de comunicació bluetooth, i el GPS. Les dues circumferències van unides per cargols de 3mm i femelles.

Un altre aspecte important es la subjecció dels motors. Al prototip inicial els motors anaven enganxats amb cola d'impacte al xassís, però a la llarga no és una bona idea perquè els motors s'espallen i s'hauria de reemplaçar-ho tot, fent el manteniment força complicat.

Per compensar aquest problema s'ha dissenyat en 3D una peça a partir de el disseny de un xassís de robòtica[15], en forma de T amb dos forats de 3mm de diàmetre que fixa els motors. Aquesta peça s'inserta a les ranures rectangulars del xassís. Els motors utilitzats tenen dos forats per a cargols de 3 x 30mm, que permeten fixar-los. D'aquesta

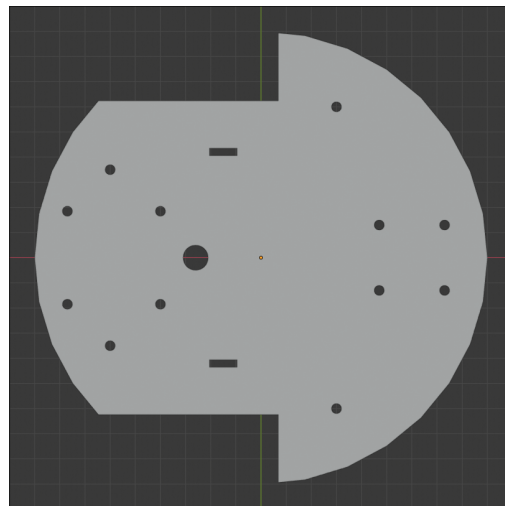


Fig. 6: Vista zenital del disseny del xassís.

manera, ens assegurem que el motor va fixe mantenint la direcció de la roda i a més es reemplaçable en cas de que deixi de funcionar. La previsualització de la peça es pot veure a la figura 7.

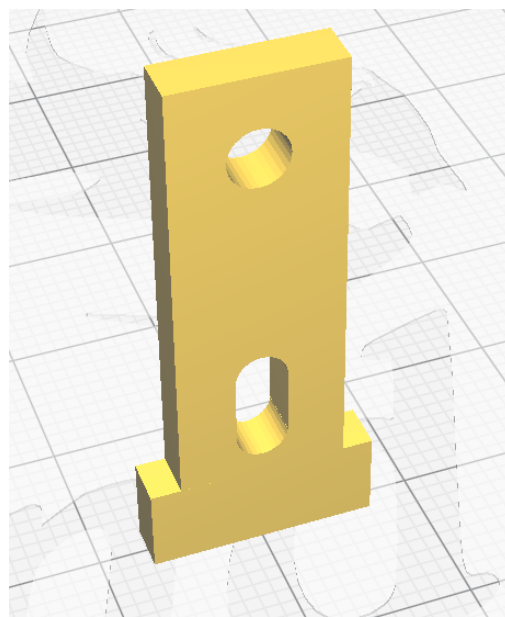


Fig. 7: Passador del motor, previsualització de Cura.

L'altre component imprès restant es un marc de subjecció pel sensor de ultrasons. Es tracta d'una estructura que va fixat a la part posterior aprofitant els propis cargols de les rodes, figura 8 . D'aquesta manera, el sensor queda fixat i evitem lectures errònies degudes al moviment.

5.4 Comunicació

A nivell de mòduls per a la comunicació, hi ha dos components importants:

- S'ha triat el mòdul bluetooth genèric HC-06, perquè es dels més comuns. Té un rang de al voltant de 10 metres, i per tant és un factor a tenir en compte en la firmware del prototip, que ha de ser completament independent.

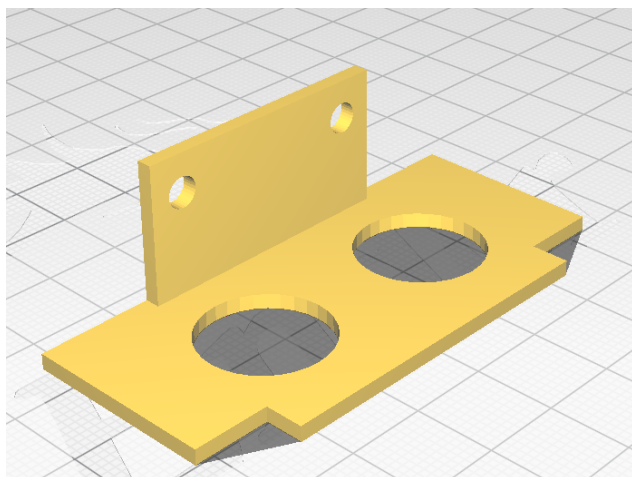


Fig. 8: Marc de subjecció del sensor HC-SR04 , previsualització de Cura.

- Per a posicionar el prototip, s'han triat un mòdul de GPS que es fan servir per a controlar drons aeris (basats en el xip NEO-6M)[8] i que té un marge d'error al voltant de 2,5m a exteriors.

Tal i com es mostra a la figura 4, estem fent servir 2 interfícies sèrie (UART) independents per a cada component, d'aquesta manera no cal que els sensors es vagin alternant. Per poder alimentar ambdós mòduls, podem fer servir els pins de alimentació de la placa, que poden subministrar 3.3V.

5.5 Detecció d'obstacles

Per a fer un recorregut segur i evitar obstacles s'han triat 2 tipus de sensors que mesuren diferents variables poder-hi cobrir les limitacions de cadascun:

- Per a mesurar distàncies s'ha triat el mòdul HC-SR04[9], que és un sensor d'ultrasons genèric molt comú. Aquest sensor permet calcular distàncies amb obstacles massissos. Igual que fan alguns animals per orientar-se, el sensor transmet petites rafegues de ultrasons, a una freqüència de 40KHz. Quan es troba un objecte, les ones reboten. Mesurant el temps de retorn, sabent la velocitat de la rafega es pot calcular la distància. En les proves que s'han fet amb el prototip, ens permet detectar un obstacle sòlid amb un marge d'error d'un centímetre. El sensor d'ultrasons genera errors si no es troba en línia recta amb l'obstacle, o si és irregular. Tot i aquesta limitació, hi podem detectar obstacles al voltant d'un metre de distància. Per alimentar-lo, necessitem 5V, i 2 pins de output digital, per a les senyals de les ràfegues.
- Per a detectar obstacles, s'ha triat un sensor d'infraroig genèric[10], que permet detectar obstacles a curta distància mitjançant un fotodíode i un díode infraroig. A diferència del sensor d'ultrasons, el sensor d'infraroig en canvi si que detecta pot detectar qualsevol obstacle a molt curta distància (5cm, regulable) sense importar la direcció, però depèn de les condicions de llum i del color del objecte en qüestió. Aquest sensor funciona amb una alimentació de 3.3 - 5v i un pin digital pel

senyal de sortida. La distància es pot regular amb un potenciòmetre que ve inclòs al sensor.

A nivell de la detecció d'obstacles, el sensor que ens dona més informació és el d'ultrasons, ja que ens dona a quina distància hi trobem l'obstacle. El sensor d'infraroig és molt limitat, ja que tot només dona informació binària sobre si hi ha un obstacle a una distància fixa. Donat això el sensor té la funció de evitar una possible col·lisió, en cas de que el sonar tingui una lectura errònia. Cada sensor va fixat al xassís de forma fixa, tal i com s'explica a la secció 4.6.

5.6 Shield personalitzat

Per a facilitar el muntatge del dron, s'han elaborat diverses plaques perforades amb pins per poder-hi connectar els components i la placa amb cables-jumper Dupont. Els diversos circuits van collats al propi xassís, perquè no es moguin i es puguin reemplaçar amb facilitat en cas de fallida. S'han realitzat 3 plaques, una per tots els pins de connexió dels motors, una per alimentació i una pels components de comunicació i les UART de la placa.

5.7 Alimentació

El dron té dues parts que cal alimentar, la part motriu (controladora i motors) i la part lògica (la placa de desenvolupament). Per aquest projecte, s'ha triat una powerbank per alimentar ambdós sistemes. La placa l'alimentem a través dels pins de alimentació.

La justificació de la elecció de la font de alimentació del sistema es senzilla. Tota la alimentació de la part motriu i lògica del dron es pot fer correctament amb una powerbank, però s'ha de tenir en compte que tingui un consum per sobre del llindar mínim perquè no es detecti com una corrent residual i es mantingui encesa. Si el consum es baix, la powerbank s'apaga per estalviar energia. Tot i això, en el nostre cas el quan el dron té tots els mòduls funcionant és suficientment alt per mantenir-se.

Fent servir piles AA es sol·luciona parcialment el problema perquè no hi ha aquest llindar, però es genera un altre problema: el consum. Després de algunes hores d'ús les piles es descarreguen i comencen a fallar els components, perquè no reben l'alimentació suficient. A més d'això, les piles generen un residu que s'ha de reciclar. L'ús de piles recarregables no el considerem com a viable pels mateixos motius.

6 IMPLEMENTACIÓ I TASQUES

Seguint la metodologia triada, la implementació del controlador s'ha fet desenvolupant tots els mòduls de forma separada però mantenint la cohesió entre el hardware i el software. Això permet fer una validació independent de cada part, validant el seu correcte funcionament. A continuació es detallaran tots els mòduls o parts que componen el projecte en la versió final:

- Programa principal: Fa d'intermediari i gestiona tots els mòduls, arrancada i el test del sistema.
- Control dels motors: controla tot en relació a funcions motrius.

- Comunicacions: Interpreta la comunicació Bluetooth amb l'usuari.
- Firmware de control: Gestiona els sensors i les decisions.
- Firmware de Seguiment: gestiona tota la interpretació de les dades de geolocalització.

6.1 Programa Principal

La rutina principal del controlador s'encarrega de la gestió general de la resta de mòduls, així com ser la interfície amb la qual interactua l'aplicació de l'usuari. A part d'això, s'encarrega de gestionar tot el l'arrancada del sistema, l'establiment de canals de comunicació i la inicialització de paràmetres, així com de reportar els errors a l'usuari i la comprovació de que tots els mòduls funcionen correctament.

Segons les preferències de l'usuari, el programa principal permet seleccionar el mode d'interacció. D'aquesta manera, l'usuari pot seleccionar si vol controlar el dron de forma manual, activar el seguiment, o fer un test de geolocalització per verificar que el dron pugui rebre senyals dels satèl·lits.

6.2 Algorisme motriu i gestió dels motors

El control de motors es realitza amb la implementació d'un driver, que a través de la controladora L298N[11] gestiona cada motor de forma independent com una capa d'abstracció. Com s'ha comentat anteriorment, l'alimentació de tota la part motora es fa directament de la font, a través de la controladora.

Cal destacar que tot i que ambdós motors són el mateix model, però a nivell intern presenten diferències a nivell de voltatge requerit i resistència interna, i per tant, se'ls ha de tractar de forma independent. El driver s'encarrega de gestionar-ho de forma transparent a l'usuari, i el programa principal només ha de indicar quina acció vol fer. De moment, les accions implementades són les següents:

- Avançar endavant.
- Frenar.
- Girar 90° en una direcció.
- Fer girs de 360° per obtenir informació.

Cada motor fa servir 3 pins de la placa, dos GPIO normals i GPIO que es pugui fer servir de modulador d'amplitud de pols(PWM)[13]. Segons quin pin posem en HIGH i en LOW, podem modificar la polaritat del motor i el seu sentit de gir. Per controlar la velocitat del motor, es fa servir un pin que tingui PWM. L'ús de una PWM es molt senzill. Els moduladors d'amplitud de pols generen una senyal periòdica d'un cert període T. Modificant el temps que la senyal és positiva, podem establir un cicle de servei (duty cycle) que marca quan la senyal està activa per a un període determinat. Per exemple, per a un període de 1 segon, si la polaritat de la senyal canvia cada mig segon, tindrem un temps de servei del 50%. Això vol dir que el motor només estaria rebent alimentació durant la meitat de un segon, i la

resta del temps es desplaçaria per inèrcia. D'aquesta manera, podem regular la velocitat del dron. A més temps de servei, més velocitat de moviment.

A nivell de software, podem modificar tant el període com el temps que la senyal es positiva. Això afegeix una dificultat extra a més de les diferències de fabricació dels motors i el centre de massa del dron a l'hora de fer el calibratge del motor, així com el nivell de càrrega de la bateria. En aquest cas, pel projecte hem fet servir un període de 0.5 segons i un duty cycle igual per a cada motor(80% i 80%), tot i que pot canviar degut al desgast dels motors i altres factors externs. Al prototip inicial un dels motors triats era molt pitjor que l'altre, i per tant requerien una cal·libració diferent.

6.3 Comunicació

El mòdul per a la comunicació Bluetooth s'encarrega d'interpretar les accions que rep des de l'usuari, i les passa al mòdul principal.

Aquest mòdul es comporta com un canal en sèrie bidireccional. Tant el dispositiu de l'usuari com el dron poden escriure i llegir missatges. La interfície de comunicació pot ser la terminal de GNU/Linux o des d'una aplicació per a smartphones que permeti un software de comunicació Serial. El dron rep petites comandes de ordres (posar-se en marxa, pas a mode autònom, llegir i enviar la informació dels sensors...) i contesta amb uns missatges definits de forma automàtica.

La comunicació bluetooth es fa a través de la UART0 de la placa, i només calen 2 pins de comunicació sèrie (un de lectura i un d'escriptura) a més de alimentació i terra. La lectura d'informació del canal es fa mitjançant un sistema de comprovació periòdica. A cada iteració, el mòdul de comunicació comprova si s'hi ha rebut una comunicació respecte a la iteració anterior. Si s'hi ha donat el cas, es posa en marxa una rutina de lectura del búfer de entrada i s'interpreten les ordres.

6.4 Firmware de Control

6.4.1 Mode autònom

El firmware de control que s'ha implementat en aquesta versió del desenvolupament consta d'una màquina d'estats finits de 3 estats, i té 3 entrades, d'acord a la figura 9. Cada estat representa una acció, que té una duració determinada ajustable, i que acaba amb una parada. Tot i això, a nivell real si no hi ha canvi d'estat la parada no es percep perquè l'acció es contínua.

- Estat F (forward): Avançar endavant. Aquest estat continua fins que algun dels dos sensors (D i I) detecten un obstacle.
- Estat G (Gir). El dron va girant 90° en sentit horari per determinar una nova direcció, fins que desapareix l'obstacle en ambdós sensors.
- Estat H (HALT). El dron s'ha aturat, ja sigui per ordre d'usuari, o perquè no pot continuar. Estat final.
- Senyal D. Detecció d'un obstacle amb el sensor d'ultrasons

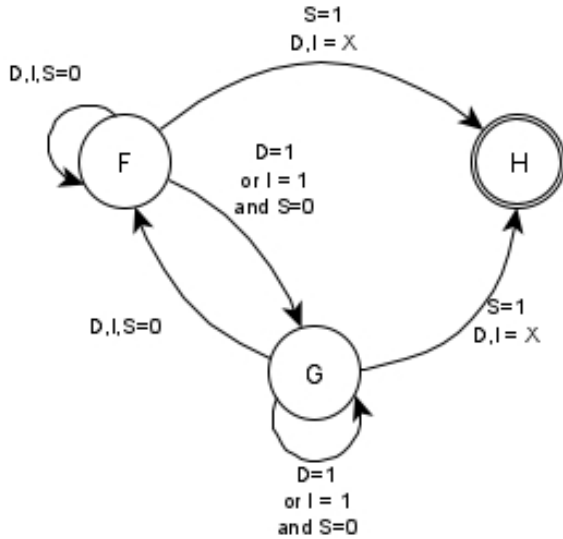


Fig. 9: Màquina d'estats finits del projecte

- Senyal I. Detecció d'un obstacle amb el sensor d'infraroig
- Senyal S. Aturada del usuari / externa als sensors

6.5 Firmware de seguiment

El sistema de seguiment es la part que s'encarrega de fer un seguiment tant de la posició del dron com la de l'usuari. Després de una arrancada o un reset s'ha d'estabilitzar la senyal del GPS. Un cop es té una senyal vàlida, s'ha d'esbrinar respecte al pol del dron per saber en quina direcció s'ha de desplaçar quan rebí la informació del usuari.

Per a realitzar el seguiment, el prototip ha de actualitzar constantment la seva posició respecte a la de l'usuari amb la informació que va rebent de forma periòdica. Tot i així, com que el mòdul de bluetooth HC-06 té una limitació de 10m, es possible que la informació es perdi o no arribi actualitzada.

El dron té un funcionament autònom i ha de ser capaç de recuperar la connexió amb el dispositiu de l'usuari. Tal i com es mostra a la figura 10, a l'hora de desplaçar-se primer de tot el dron ha de actualitzar la seva pròpia posició. En funció de si ha rebut una actualització de l'usuari o no, es farà servir la informació actualitzada o la de l'anterior iteració, respectivament.

A nivell intern, el nostre gps presenta un problema: No tenim cap mena de brúixola per saber en quina direcció hem d'anar. Si acabem de començar, el dron ha de fer una "exploració" de els voltants de la localització, per determinar la direcció. Amb la distància euclidiana, donat dos punts podem saber la distància en mínima entre ells, d'acord a:

$$D_e(P1, P2) = \sqrt{(A_2^2 - A_1^2) + (B_2^2 - B_1^2)}$$

D'aquesta manera, podem calcular si anem en la direcció correcta. Comparant la posició de la iteració actual amb l'anterior, podem verificar si ens estem acostant a l'objectiu, i en aquest cas mantenir la trajectòria, o si anem en una direcció incorrecta, i per tant l'hem de corregir.

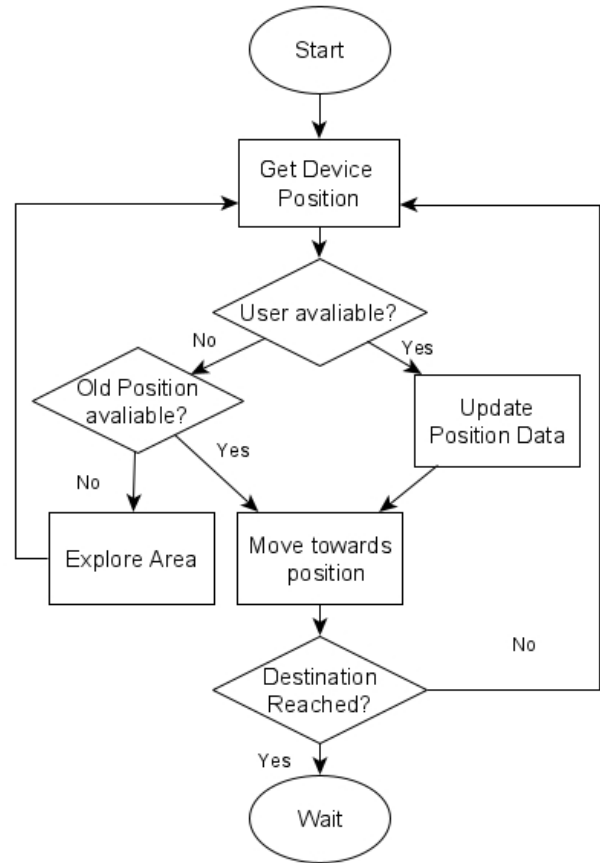


Fig. 10: Algorisme de seguiment del prototip

6.5.1 NMEA i interpretació de les dades

La interpretació de les sentències dels GPS(NMEA) pot ser complicada de entendre a simple vista, per la complexitat de les dades. La popular biblioteca d'arduino TinyGPS+[14](portable a mbed) facilita molt la feina a l'hora d'interpretar les dades i és de gran ajuda. A cada iteració del programa, es fa una lectura del canal de comunicació sèrie del GPS, fent un encode caràcter a caràcter.

Les sentències NMEA comencen sempre amb el símbol del dolar "\$", i acaben amb el caràcter de retorn de carro "\r". A partir d'aquí, la biblioteca pot extreure la informació de la sentència, com pot ser la latitud, la longitud, altitud o nombre de satèl·lits.

6.6 Reset i estat inicial

La funció de reset del programa principal s'encarrega de deixar el sistema en un estat en el qual ja pot operar de forma usual. Quan el dron comença l'execució del firmware després de una arrancada en fred o un reset, el primer que es fa és una inicialització de les interfícies de comunicació i de control de motors. La connexió i el pairing bluetooth es fa de a través del mòdul de forma independent, i continua mentre tingui alimentació independentment de que hi hagi un reset.

No obstant això, el dron resta a l'espera fins que hi hagi un missatge vàlid de l'usuari amb cada arrancada. A partir d'aquí, l'usuari pot enviar ordres individualment per controlar el dron o posar en marxa el mòdul de seguiment de l'usuari, o fer servir el mòdul de test del GPS.

En cas de una arrancada en fred, el temps de aconseguir una senyal estable de geolocalització es al aproximadament d'un parell de minuts, en funció del temps i de la disponibilitat de satèl·lits. En el cas de un reset en calent, el temps es redueix a menys de 30 segons.

6.7 Diagnòstic i test del sistema

Una de les altres funcions del programa principal és la de comprovar que tot els mòduls estiguin disponibles i que funcionin correctament, fent un seguiment periòdic. També es pot fer servir de forma individual quan el dron no estigui funcionant, com a eina de verificació de l'usuari.

Depenent de les preferències de l'usuari, es poden fer lectures arbitràries dels sensors a més de un mode d'operació per comprovar que el GPS funciona correctament.

Per exemple, si la senyal de GPS deixa de ser vàlida, el dron s'atura i envia un missatge d'error a l'usuari indicant que la localització no es correcta.

6.8 Manteniment

Un dels aspectes més importants a tenir en compte a posteriori de la finalització del projecte és la possibilitat de fer reparacions i recanvis. Tots els components van collats al xassís amb cargols de mida estàndard i per tant, en cas de fallida es poden intercanviar.

Els motors, respecte a la versió original, sí que son reemplaçables.

7 DISCUSSIÓ DE RESULTATS I TEST

Durant tot el projecte s'ha fet una serie de test per, d'acord a la metodologia escollida, anar implementant poc a poc totes les parts del projecte. Els test realitzats són els següents:

- Test de interfícies de comunicació: S'han realitzat proves per verificar el correcte funcionament del mòdul HC-06 i el seu abast.
- Test de GPS i de tinyGPS+[14]: S'ha elaborat un programa de test per verificar el funcionament correcte dels GPS que s'han fet servir al projecte. Per comprovar que la biblioteca d'arduino tinyGPS+ no introdueix soroll, s'han comparat els resultats amb les lectures directes de sentències NMEA de dades sense parsejar.
- Test del sensor HC-SR04: S'ha refet gran part de la biblioteca del sensor d'ultrasons per adaptar-la al projecte, i s'ha testejat el seu funcionament mesurant distàncies amb diversos obstacles, per poder verificar que la informació que dona es correcta. S'ha determinat que amb les cantonades i amb objectes que no estiguin en línia recta, el sensor té problemes per a fer una detecció correcta. Per evitar col·lisions, s'afegeix un segon sensor (infraroig).
- Cal·libració dels motors: S'ha fet una cal·libració de cada motor per poder estimar les diferències físiques de cada unitat i poder adaptar els duty cycles de les PWM i aconseguir que vagin a la mateixa velocitat, per assegurar girs mes precisos i que es pugui mantenir millor la trajectòria.

- Test en interiors: S'ha testejat en interiors el funcionament de la part motora, comunicació i de la detecció d'obstacles amb els sensors, per demostrar el seu correcte funcionament i cal·libració. S'han fet test de diverses hores amb conducció autònoma, sense control directe de l'usuari i amb control directe.
- S'ha verificat el control del dron des de una Aplicació d'Android, testejant el seu control des de dispositius mòbils com a base per a la interfície d'usuari final.
- Test en exteriors de conducció autònoma amb GPS.

Respecte al disseny 3D, s'han refet els models en 3D i s'ha verificat el seu correcte slicing, a més de desmantellar el prototip original i muntatge del prototip final, amb la inclusió del shield personalitzat. S'ha reorganitzat tot el codi del projecte, per incloure tota la part de les biblioteques del seguiment GPS i del controlador de seguiment.

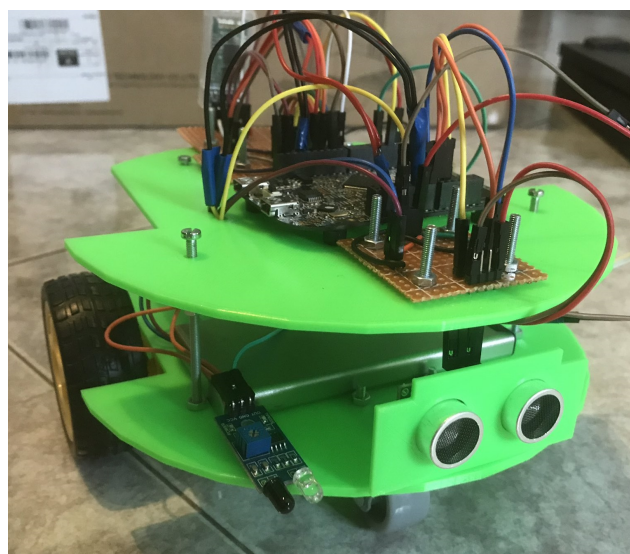


Fig. 11: Prototip final

8 CONCLUSIONS

Un cop finalitzat el projecte i el prototip final, tenim un dron que es pot moure seguint les indicacions de un usuari des d'un dispositiu mòbil o qualsevol sistema de comunicació que pugui fer servir el protocol de comunicació serie, com podria ser una terminal de linux. El dron es capaç de detectar obstacles i esquivar-los canviant de direcció. El prototip final pot fer un seguiment de unes coordenades a través del GPS, mentre es comunica amb l'usuari enviant un feedback.

El projecte ha cobert tots els passos necessaris per a la construcció d'un dron des de 0, partint de un estudi de viabilitat, passant per diverses fases de desenvolupament amb un prototip en fusta a un disseny final imprès amb 3D. A partir de un control senzill manual de l'usuari, s'ha anat desenvolupant l'autonomia del dron, intentant ser autònom i no requerir un control manual.

9 AGRAÏMENTS

Aquest Treball de fi de Grau no hagués estat possible sense l'aportació de 3 persones, que m'han ajudat de moltes

maneres sent imprescindibles:

- A la Lola, la meva tutora, per tenir paciència infinita amb mi i ser la meva guia en aquest projecte.
- Al Santi, per iniciar-me al món del disseny i la impressió 3D.
- A la Nora, per ser la meva fan incondicional i la persona que ha estat sempre al meu costat i m'ha fet tirar endavant una vegada rere l'altre.

A tots tres, moltes gràcies.

REFERÈNCIES

- [1] Klaus Betke, May 2000. *The NMEA 0183 Protocol* retrieved from <https://www.tronico.fi/OH6NT/docs/NMEA0183.pdf>
- [2] National Marine Electronics Association official website retrieved from <https://www.nmea.org>
- [3] M.Wolf. *High-Performance Embedded Computing*, 2n edition. San Francisco, Elsevier Science & technology 2014.
- [4] B. Boehm, *Spiral Development: Experience, Principles, and Refinements*, Special Report CMU/SEI-2000-SR-008, July 2000 from https://resources.sei.cmu.edu/asset_files/SpecialReport/2000_003_001_13655.pdf
- [5] NXP official website, FRDM-KL25Z page, retrieved from <https://www.nxp.com/design/development-boards/freedom-development-boards/mcu-boards/freedom-development-platform-for-kinetis-kl14-kl15-kl24-kl25-mcus:FRDM-KL25Z>
- [6] FRDM-KL25Z official nxp datasheet. Retrieved from <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/KL25P80M48SF0.pdf>
Old FRDM-KL25Z user manual (not available on NXP) Retrieved from <https://www.seeedstudio.com/document/pdf/FRMD-KL25Z.pdf>
- [7] MBED official website retrieved from <https://www.mbed.com/en/>
- [8] GT-U7(GPS) datasheet retrieved from <https://drive.google.com/open?id=15cIa03wqNB7sIt6I2s5xZ8PGOZ1Q0JF>
- [9] HC-SR04 Datasheet retrieved from https://www.mpja.com/download/hc-sr04_ultrasonic_module_user_guidejohn.pdf
- [10] IR Sensor Datasheet retrieved from <https://components101.com/sensors/ir-sensor-module>
- [11] l298N chipset Datasheet and user guide, retrieved from ST official site <https://www.st.com/resource/en/datasheet/l298.pdf>
- [12] Blender fundation official website retrieved from <https://www.blender.org/about/>
- [13] PWM usage guide, retrieved from mbed official website <https://os.mbed.com/teams/TVZ-Mechatronics-Team/wiki/Pulse-Width-Modulation>
- [14] TinyGPS+ usage guide, retrieved from <http://arduiniiana.org/libraries/tinygpsplus/>
- [15] dymore robot chassis design, retrieved from <https://www.diymore.cc/collections/robot-chassis/products/diymore-4-wheel-robot-chassis-smart-car-with-speed-and-tacho-encoder-for-arduino-raspberry-pi-robot-diy-kits-65x26mm-tire>
- [16] Ultimaker official website, retrieved from <https://ultimaker.com/es/software/ultimaker-cura>
- [17] Silicon.es about DHL drones, retrieved from <https://www.silicon.es/dhl-utilizara-drones-autonomos-en-sus-almacenes-de-espana-2416292>

A APÈNDIX

A.1 Dissenys 3D

Inclosos amb el lliurament d'aquest document, a /models

A.2 Planificació del projecte

Tasca	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July
Recerca Inicial							
Elaboració del pressupost i compra inicial							
Test dels mòduls de comunicació							
Disseny 3d Xassis							
Muntatge dels Motors							
Programació Firmware Motors							
Programació IA i detecció d'obstacles							
Test Exteriors							
Elaboració Material audiovisual							
Programació de la interfície							

A.3 Codi font del projecte

Llicenciat amb la GNU General Public License, disponible inclòs amb el lliurament del document

A.4 Altres materials

Altres materials, com fotografies i videos, inclosos també amb el lliurament del document